

## ANALISIS KONSUMSI ENERGI *ROTARY KILN* #1 PADA PROSES PENGOLAHAN NIKEL KABUPATEN LUWU TIMUR SULAWESI SELATAN

Yusfaldin<sup>1</sup>, Sri Widodo<sup>2</sup>, Nurliah Jafar<sup>1\*</sup>

1. Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Muslim Indonesia

2. Program Studi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin

Email: nurliahjafar@yahoo.co.id

### SARI

Dalam pengolahan nikel laterit menjadi nikel *matte* perlu tahap proses kalsinasi, maka perlu pembuatan konsumsi energi agar mendapatkan jumlah kebutuhan energi optimum, namun tetap mendapatkan produk kalsin yang optimum pula hal ini guna membuat biaya produksi menjadi optimum. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kelebihan bahan bakar HSFO berdasarkan pemodelan konsumsi energi pada *rotary kiln* #1. Dalam penelitian ini digunakan metode analisis deskriptif berupa penggunaan data aktual *rotary kiln* #1 sebagai input data pada saat perhitungan dilakukan. Data aktual *rotary kiln* #1 yang telah diperoleh, kemudian diolah dan menghasilkan keluaran berupa nilai energi panas yang dihasilkan. Hasil yang didapatkan yaitu didapatkan energi entalpi total yaitu -40.308.221,89 kJ/h. Nilai ini didapatkan dari perhitungan energi panas tiap reaksi didalam proses *reduction kiln* #1, perhitungan energi panas yang dibawa oleh material dalam debu, perhitungan energi panas *off gas*, perhitungan energi kalsin yang tidak berhasil tereduksi, dan perhitungan energi panas yang hilang akibat terserap oleh dinding *kiln*. Dari jumlah energi yang dihasilkan, terlihat bahwa ada kelebihan panas yang dihasilkan, kesimpulannya adalah energi panas yang dihasilkan didalam *rotary kiln* #1 berlebih hal tersebut diakibatkan oleh adanya kelebihan bahan bakar HSFO sebesar 1000,25 kg/h.

Kata kunci: *Reduction kiln*, *calcine*, HSFO, *main burner*, *lance oil*, Energi entalpi.

### ABSTRACT

*In the processing of laterite nickel into matte nickel, stage of calcination process and manufacture of energy consumption are required in order to obtain the amount of optimum necessities of energy, and still obtain the optimum calcine product in order to make the production costs optimum. The purpose of this study is to determine the excess of HSFO fuel based on the modeling of energy consumption in the rotary kiln # 1. In this research, the method used was a descriptive analysis which involve the use of actual data of rotary kiln # 1 as the input data at the time of the calculation is done. The actual data of rotary kiln # 1 which has been obtained were then processed, and those produced the output of heat energy value generated. The results obtained were the total energy enthalpy of -40,308,221.89 kJ / h. This value was obtain from the calculation of heat energy from the each reaction in the process of reduction kiln # 1, the calculation of heat energy carried by the material in the dust, the calculations of heat energy off gas, the calculations of calcine energy which were unsuccessfully reduced, and the calculations of heat energy which lost through absorption by the walls of the kiln. Of the amount of energy produced, it appears that there is an excess of the heat produced. In conclusion, the heat energy generated in the rotary kiln # 1 exceeded the case which was caused by excess of HSFO fuel amounted to 1000.25 kg/h.*

Keywords: *Reduction kilns*, *calcine*, HSFO, *main burner*, *lance oil*, Enthalpy energy.

## PENDAHULUAN

Dalam kegiatan pengolahan nikel laterit menjadi nikel *matte* perlu dilakukan beberapa proses, salah satunya yaitu proses kalsinasi dan reduksi bijih nikel laterit kering, serta sulfidasi yang terjadi dalam sebuah *reduction kiln* hingga menghasilkan *calcine* bertemperatur sekitar 700°C. Proses ini dapat terjadi karena adanya gas pereduksi berupa karbon monoksida (CO), yang di peroleh dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar *High Sulphur Fuel Oil* (HSFO).

Produk sampingan yang turut dihasilkan dari *reduction kiln* ini berupa debu (*dust*) dan gas buang (*off gas*), yang akan mengalir dari sisi *discharged end* menuju *multiclone* yang berada pada sisi berlawanan. Pada *multiclone* debu (*dust*) berukuran besar akan dipisahkan, dan *output gas* dari *multiclone* akan diumpankan menuju *electrostatic precipitator* (ESP) untuk dilakukan penangkapan terhadap debu-debu berukuran halus yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan, sehingga gas dapat dibuang ke lingkungan atmosfer melalui *stack* dalam keadaan memenuhi batas toleransi yang telah diatur pemerintah.

Pabrik pengolahan nikel di Soroako Memiliki lima *reduction kiln*, dimana *reduction kiln* 1,2, dan 3 memiliki dimensi yang sama yaitu dengan diameter 5,5 meter dan panjang 100 meter dengan kapasitas 150-165 ton/jam. Sedangkan *reduction kiln* 4 memiliki dimensi dengan diameter 6 meter dan panjang 115 meter dengan kapasitas 205 ton/jam. Lalu *reduction kiln* 5 memiliki dimensi dengan diameter 6 meter dan panjang 135 meter dengan kapasitas 240 ton/jam.

Di *reduction kiln* mengolah umpan dari *Dry Ore Storage* (DOS) yang dicampur dengan bahan bakar *High Sulfur Fuel Oil* (HSFO) yang memiliki kandungan sulfur sekitar 3% yang diinjeksikan di *discharge end*. Namun saat ini pabrik di Soroako Sedang dilakukan pengujian untuk mencapur atau bahkan menggantikan HSFO tersebut dengan batubara agar didapatkan harga yang lebih murah namun memiliki kualitas yang tidak jauh berbeda. Adapun target yang dicapai yaitu produk

*Reduction kiln* dengan kandungan 30% Ni dan 3% Fe. (Superiadi, 2003)

## METODOLOGI PENELITIAN

Adapun metodologi yang digunakan dalam penelitian ini secara berurutan adalah sebagai berikut:

### 1. Studi Pustaka

Mempelajari literatur-literatur yang berkaitan dengan penulisan penelitian dan mengutip hal-hal yang penting yang diperlukan dalam penulisan ini. Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan gambaran umum mengenai keadaan daerah penelitian untuk mengetahui konsep pembentukan nikel laterit.

### 2. Pengambilan Data

Adapun data-data yang dibutuhkan dilapangan untuk penelitian ini adalah:

- a) Data *reduction kiln feed*,
- b) Data udara yang masuk pada *Reduction kiln*
- c) Data bahan bakar yang masuk pada *reduction kiln*
- d) Data profil temperatur di *reduction kiln*
- e) Data konstanta yang dipakai dan kapasitas senyawa
- f) Data *calcine assay*
- g) Data *unreduced calcine*
- h) Data *dust*
- i) Data *off gas*
- j) Data Energi entalpi tiap reaksi di tiap zona *reduction kiln*
- k) Data mol udara
- l) Data *Energi panas sheel heat loss*
- m) Data energi panas *dust*
- n) Data energi panas *unreduced calcine*
- o) Data energi panas *off gas*

### 3. Pengolahan Data

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, digunakan metode analisis deskriptif berupa penggunaan data aktual *reduction kiln* #1 pada Bulan Juli 2016.

Penulis berusaha membuat model perhitungan konsumsi energi HSFO ke dalam *reduction kiln* #1, dengan menggunakan rumus. Studi lapangan berupa penggunaan data aktual lapangan sebagai input data pada saat perhitungan dilakukan dalam tugas akhir ini. Data lapangan yang telah diperoleh, kemudian diolah dan

menghasilkan keluaran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk menentukan tingkat kebutuhan energi HSFO di *reduction kiln* #1.

#### 4. Penganalisaan Data

Setelah data hasil olahan didapatkan, selanjutnya dilakukan tahap analisis dalam bentuk deskriptif yaitu dengan melakukan penjabaran atau penjelasan dari data hasil perhitungan pemodelan konsumsi energi.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut akan proses singkat dalam rotary kiln. Proses-proses tersebut adalah:

1. Pre-heat atau pengeringan awal  
Letak zona ini di area dam ring tengah sampai dengan feed end, dibagian ini terdapat air pipe #1 yang berfungsi membakar sisa combustible gas. Zona ini memiliki panjang 50% dari bodi kiln
2. Pelepasan air Kristal  
Letak zona ini dari refractory dam ring sampai dengan metal dam dibagian pada bagian tengah kiln. Air pipe 2,3,4 terletak di zona ini. Prinsip dari zona ini adalah memanaskan RKF sampai mendekati atau sama dengan temperature di dischard end. Pelepasan air Kristal dan reduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  menjadi oksida yang lebih rendah (Contoh  $\text{FeO}$ ). Pelepasan volatile matter dari coal juga terjadi pada zona ini.
3. Reduksi dan sulfidasi  
Zona ini terletak antara refractory dam sampai kiln dischard end, dan tidak terdapat lifter pada zona ini. Diantara zona ini terdapat sulfur lance, main burner, oil lance. Fungsi dari zona ini adalah mereduksi sebagian oksida Fe, Co dan Ni menjadi logam dan menambah sulfur kedalam calcine (Dewanto, 2010)

Data yang digunakan dalam pemodelan konsumsi energi di *Reduction kiln* #1 ini adalah data *reduction kiln* #1 pada Bulan Juli 2016 yang meliputi data: *ore rate*, *air flow rate*, dan *oil rate*, kadar bijih dan % reduksi.

#### a. Data ore input *Reduction Kiln* #1

Data umpan dalam bijih untuk *rotary kiln* #1 pada bulan Juli tahun 2016 dapat dilihat pada table 1 dibawah ini:

**Tabel 1.** Data umpan bijih dalam (*Rotary kiln Feed*) *rotary kiln* #1

| <i>Rotary Kiln Feed</i> |       |      |
|-------------------------|-------|------|
| <i>Feed rate</i>        | 162,3 | WMPH |
| <i>Moisture</i>         | 19,7  | %    |
| Ni                      | 1,87  | %    |
| Fe                      | 22,2  | %    |
| xH <sub>2</sub> O       | 7,01  | %    |
| <i>dust rate</i>        | 17,1  | %    |

#### b. Data udara yang masuk dalam *reduction kiln* #1

Data umpan udara yang masuk dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.** Data udara yang masuk dalam *reduction kiln* #1

|                            | GAS(Nm <sup>3</sup> /min) | O <sub>2</sub> (kmol/h) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|
| <i>Primary air</i>         | 39,2                      | 20,19733181             |
| <i>Secondary air</i>       | 49,1                      | 25,31756425             |
| AP 1                       | 276,0                     | 142,3249304             |
| AP 2                       | 323,9                     | 167,0340481             |
| AP 3                       | 197,5                     | 101,8374529             |
| AP 4                       | 99,7                      | 51,39826486             |
| <i>Leakage – DE</i>        | 361,0                     | 186,143395              |
| <i>leakage - mc input</i>  | 493                       | 254,2533148             |
| <i>leakage - esp input</i> | 379                       | 195,5794729             |

#### c. Data Bahan Bakar yang Masuk di *Reduction Kiln* #1

Data umpan bahan bakar pada *reduction kiln* #1 dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.** Data umpan bahan bakar *Reduction kiln #1*

| Bahan Bakar            |           |                |  |
|------------------------|-----------|----------------|--|
| <i>Main burner oil</i> | 2055 kg/h | 2,0447 kmol/h  |  |
| <i>lance oil</i>       | 4127 kg/h | 4,1064 kmol/h  |  |
| <i>Sulfur</i>          | 1223 kg/h | 38,2187 kmol/h |  |

**Tabel 4.** Data umpan *Coal Reduction kiln #1*

| Coal                  |       |      |
|-----------------------|-------|------|
| <i>Feed rate coal</i> | 2926  | Kg/h |
| <i>VM</i>             | 41,00 | %    |
| <i>Moisture</i>       | 16,50 | %    |

**d. Data profil temperatur pada *reduction kiln #1***

Data profil temperatur pada *reduction kiln #1* dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 5** Profil *temperature reduction kiln #1*

| Zona                | T Gas Input (°K) | Zona                | T Solid input(°K) |
|---------------------|------------------|---------------------|-------------------|
| Reduksi             | 1173             | <i>Pre- Heating</i> | 573               |
| Kalsinasi           | 1173             | Kalsinasi           | 823               |
| <i>Pre- Heating</i> | 1153             | Reduksi             | 973               |
| <i>Output</i>       | 493              | <i>Output</i>       | 953               |

Temperatur Sulfur : 423°K

**e. Data Konstanta Yang Dipakai dan Kapasitas Senyawa**

Data konstanta yang dipakai dalam perhitungan yaitu Nilai dari *Heat of dissociation* of LOI 4180 kJ/kg atau 75240 kJ/mol dan *Water Evaporation Heat* 2264,76 atau 40765,68 kJ/mol. (Stull and Prophet, 2007)

Sedangkan untuk data kapasitas panas dari unsur dan senyawa yang berada di *reduction kiln #1* dapat dilihat pada tabel dibawah 6.

**Tabel 6.** Data kapasitas panas senyawa dan unsur (Lee, 1999)

| $C_p = a + bT + cT^2$ (KJ/kmol.K)                           |        |          |          |                             |
|-------------------------------------------------------------|--------|----------|----------|-----------------------------|
| $C_p dT = a(T_2-T_1) + b/2 (T_2^2-T_1^2) - c (1/T_2-1/T_1)$ |        |          |          |                             |
| Senyawa                                                     | a      | b        | c        | $\Delta H^{298K}$ (KJ/kmol) |
| CO                                                          | 23,64  | 0,04787  | -193000  | -110500                     |
| CO <sub>2</sub>                                             | 43,66  | 0,03167  | -751000  | -393500                     |
| Fe                                                          | 17,49  | 0,02477  | 0        | 0                           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                              | 98,28  | 0,07782  | -1485000 | -821300                     |
| H <sub>2</sub> O <sub>g</sub>                               | 75,44  | 0        | 0        | -285500                     |
| H <sub>2</sub> O <sub>l</sub>                               | 30     | 0,01071  | 34000    | -241800                     |
| Ni <sub>(s)</sub>                                           | 12,54  | 0,03582  | 247000   | 0                           |
| NiO <sub>(s)</sub>                                          | -20,88 | 0,1572   | 1628000  | -240600                     |
| Ni <sub>3</sub> S <sub>2(s)</sub>                           | 43,76  | 0,0222   | -290000  | -94140                      |
| O <sub>2(g)</sub>                                           | 29,96  | 0,00418  | -167000  | 0                           |
| S <sub>0</sub>                                              | 67,12  | 0,005897 | -6051900 | 924                         |
| SO <sub>2(g)</sub>                                          | 43,43  | 0,01063  | -594000  | -296800                     |
| N <sub>2(g)</sub>                                           | 27,87  | 0,00427  | 0        | 0                           |
| Ni <sub>3</sub> S <sub>2</sub>                              | 43,76  | 0,0222   | -290000  | -94140                      |
| FeS                                                         | 21,72  | 0,1105   | 0        | -100400                     |
| MgO                                                         | 49     | 0,00314  | -1172000 | -601500                     |
| SiO <sub>2</sub>                                            | 46,95  | 0,001    | -603000  | -190700                     |
| Co                                                          | 21,39  | 0,01431  | 0        | 0                           |
| H <sub>2</sub>                                              | 27,28  | 0,00326  | 50000    | 0                           |
| C                                                           | 17,15  | 0,00427  | -879000  | 0                           |

**f. Data Bahan Bakar**

Data bahan bakar HSFO dapat dilihat dalam tabel berikut:

**Tabel 7.** Data bahan bakar HSFO

| Bahan bakar HSFO |      |         |
|------------------|------|---------|
| LHV              | 9625 | Kcal/gr |
| Basis            | 1000 | gr      |

**g. Data *Output calcine Reduction Kiln #1***

Data output terdiri dari data *Calcine assay*, data *Unreduced calcine*, data *dust*, serta data *off gas* pada *Reduction kiln #1* dapat dilihat pada tabel dibawah 8.

**Tabel 8.** Data *calcine* pada *Reduction kiln* #1

| <i>Calcine Assay</i>           |         |     |
|--------------------------------|---------|-----|
| <i>Calcine rate</i>            | 100,626 | TPH |
| <i>Moisture remain</i>         | 0       | %   |
| <i>x.H<sub>2</sub>O remain</i> | 1,08    | %   |
| <i>Fe-reduksi</i>              | 1,21    | %   |
| <i>Ni-reduksi</i>              | 29,6    | %   |
| <i>%Ni</i>                     | 1,92    | %   |
| <i>%Co</i>                     | 0,07    | %   |
| <i>%Fe</i>                     | 21,66   | %   |
| <i>%SiO<sub>2</sub></i>        | 38,6    | %   |
| <i>%MgO</i>                    | 18,14   | %   |
| <i>C</i>                       | 2       | %   |

#### h. Data Output Unreduced Calcine Rotary kiln #1

**Tabel 9.** Data *unreduced calcine Reduction kiln* #1

| <i>Unreduced Calcine</i>           |           |      |
|------------------------------------|-----------|------|
| <i>NiO</i>                         | 13,10     | kmol |
| <i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i> | 246,89    | kmol |
| <i>MgO</i>                         | 456,33891 | kmol |
| <i>SiO<sub>2</sub></i>             | 647,3606  | kmol |
| <i>CO</i>                          | 2,51      | kmol |

#### i. Data Output Dust Reduction Kiln #1

**Tabel 10.** Data *dust Reduction kiln* #1

| <i>Dust</i>            |        |            |             |
|------------------------|--------|------------|-------------|
| <i>Ni</i>              | 2,13 % | 591,1 kg   | 10,07 kmol  |
| <i>Co</i>              | 0,09%  | 24,9 kg    | 0,42 kmol   |
| <i>Fe</i>              | 27,9%  | 7.743,1 kg | 138,64 kmol |
| <i>SiO<sub>2</sub></i> | 27,7%  | 7.687,6 kg | 128,13 kmol |
| <i>MgO</i>             | 10,1%  | 2.803 kg   | 70,08 kmol  |
| <i>LOI</i>             | 11%    | 3.052,8 kg | 169,60 kmol |

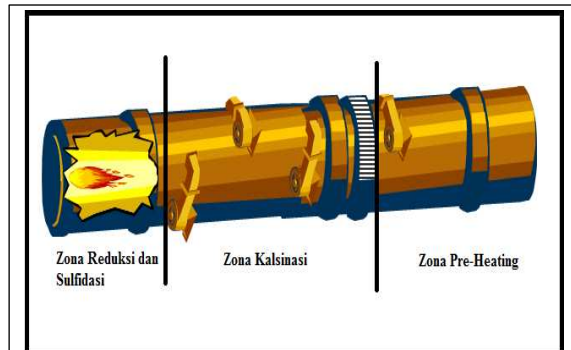
#### j. Data Off Gas Reduction Kiln #1

**Tabel 11.** Data *off gas Reduction kiln* #1

| <i>Off gas (Kj/h)</i> |              |
|-----------------------|--------------|
| <i>CO</i>             | -1.018.705,6 |
| <i>CO<sub>2</sub></i> | 627.027,74   |
| <i>H<sub>2</sub></i>  | 0            |
| <i>H<sub>2</sub>O</i> | 3.536.414,9  |
| <i>SO<sub>2</sub></i> | -264.733,3   |
| <i>N<sub>2</sub></i>  | 3.628.174,32 |
| <i>O<sub>2</sub></i>  | 204.706,87   |

Simulasi perhitungan dilakukan menggunakan data pada bulan Juli 2016.

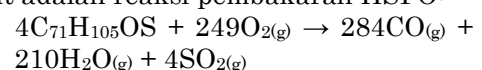
Data diolah menghasilkan *output* energi yang dihasilkan di *rotary kiln*. Proses ini untuk menentukan kontribusi proses terhadap neraca panas dalam *rotary kiln* #1. Simulasi ini, penulis membagi *kiln* kedalam tiga buah zona, yaitu zona *pre-heating*, zona kalsinasi, dan zona reduksi+sulfidasi.

**Gbr 1.** Pembagian Zona Dalam *Reduction Kiln*

Pada zona reduksi dan sulfidasi, proses yang terjadi adalah reduksi bijih nikel laterit oleh gas CO yang terbentuk dari pembakaran tidak sempurna HSFO. Pelepasan air kristal terjadi di zona kalsinasi hingga kandungan air kristal berada dibawah 1%. Sedangkan pelepasan *moisture* secara keseluruhan terjadi di zona *pre-heating*. Empat buah *air pipe* yang terpasang dalam *reduction kiln* akan menghembuskan udara dengan kandungan oksigen sekitar 21% dan nitrogen 79%, udara ini digunakan untuk membakar HSFO yang belum terbakar sempurna, dan membakar gas CO menjadi CO<sub>2</sub>. Berikut proses-prose yang disimulasikan yang terjadi dalam *reduction kiln*:

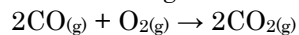
##### 1. Pembakaran Tidak Sempurna HSFO

Pada proses ini, bahan bakar (*High Sulphur Fuel Oil*) HSFO yang diumpankan kedalam *reduction kiln* melalui *main burner* dan *oil lance* akan terbakar secara tidak sempurna akibat adanya udara primer, sekunder, dan *leakage air*. Pembakaran tidak sempurna disebabkan oleh keterbatasan jumlah oksigen. Namun hal ini memang sengaja dilakukan agar mendapatkan gas karbon monoksida (CO) guna untuk mereduksi logam-logam yang ingin direduksi (Nikel, Besi, dan Kobalt). Berikut adalah reaksi pembakaran HSFO:



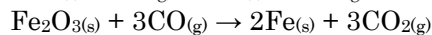
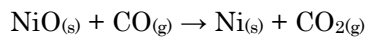
2. Pembakaran CO Oleh Oksigen Berlebih

Apabila oksigen yang dipasok oleh udara primer, sekunder, dan *leakage air* berlebih, dalam artian masih terdapat gas oksigen sisa, maka gas CO hasil pembakaran di zona pembakaran bahan bakar HSFO akan kembali dibakar untuk menghasilkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Berikut adalah reaksi pembakaran gas karbon monoksida oleh oksigen :



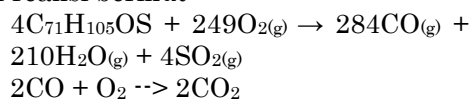
3. Reduksi NiO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dalam Bijih

Gas CO yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna HSFO dalam proses pembakaran bahan bakar HSFO akan digunakan untuk mereduksi NiO dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi logamnya mengikuti reaksi berikut:



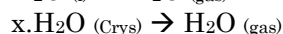
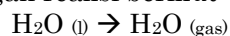
4. Pembakaran HSFO yang Tersisa dan CO oleh *Air Pipe*

Apabila saat memasuki daerah *air pipe* terdapat HSFO yang belum terbakar, oksigen dalam udara yang dihembuskan melewati *air pipe* akan membakar HSFO tersebut, namun apabila HSFO tidak ada yang tersisa, maka udara yang dihembuskan akan membakar gas CO menjadi CO<sub>2</sub>. Dan apabila gas CO sudah tidak bersisa namun masih terdapat gas oksigen, maka gas oksigen tersebut akan terbangun menjadi *off gas*. Hal ini sesuai dengan reaksi berikut:



5. Penguapan *Moisture* dan Air Kristal

Pada proses ini, udara panas dalam *rotary kiln* akan menguapkan air kristal hingga mencapai kadar di bawah 1%. Kemudian di dalam *rotary kiln* juga akan menguapkan kandungan *moisture* secara keseluruhan yang terdapat dalam bijih. Hal ini sesuai dengan reaksi berikut:



Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh ringkasan keluaran gas buang *reduction kiln* seperti ditunjukkan dalam tabel 12.

Dari jumlah energi yang dihasilkan, terlihat bahwa ada kelebihan panas yang

dihasilkan. Ada beberapa hal yang penulis jadikan hipotesis akan hal ini. Hipotesis yang pertama adalah Kelebihan *input* bahan bakar HSFO kedalam *main burner*. Apabila hal ini benar, maka dapat dikonversikan menjadi kelebihan jumlah bahan bakar HSFO sebesar 1000,25 kg/jam dari pasokan total 6182 kg/jam. Kemudian hipotesis yang kedua yaitu terdapat kesalahan pengukuran data lapangan, seperti temperatur gas di tiap zona, temperatur material di tiap zona, kadar material yang tereduksi di zona kalsinasi, kadar tiap material di tiap zona seperti di *dust* dan *off gas*, serta kesalahan kehilangan panas di dinding *rotary kiln* #1. Kemudian hipotesis yang terakhir adalah terdapat material yang tidak diketahui membawa panas dari proses-proses yang terjadi di dalam *rotary kiln* #1.

**Tabel 12.** Data Jumlah Energi Tiap Unit

| Unit                          | Energi Entalpi (KJ/h) |
|-------------------------------|-----------------------|
| <b>Total Zona Reduksi</b>     | -137.960.776,05       |
| <b>Total Zona Kalsinasi</b>   | -56.504.989,19        |
| <b>Total Zona Pre-Heating</b> | 73.504.801,44         |
| <b>Shell Heat loss</b>        | 14.847.709,80         |
| <b>Off Gas</b>                | 6.712.884,90          |
| <b>Unreduced Calcine</b>      | 57.430.756,98         |
| <b>Dust</b>                   | 1.661.390,24          |
| <b>Total</b>                  | -40.308.221,89        |
| <b>Asumsi Jumlah HSFO</b>     | Kelebihan 1000,25 kg  |

Dari hasil pengolahan data, didapatkan energi entalpi total yaitu -40.308.221,89 kJ/h. Nilai ini didapatkan dari perhitungan energi panas reaksi proses *reduction kiln* #1, perhitungan energi panas oleh material dalam debu, perhitungan energi panas yang dibawa oleh gas yang terbangun sebagai *off gas*, perhitungan energi panas yang dibawa oleh material di kalsin yang tidak berhasil tereduksi, dan perhitungan energi panas yang hilang akibat terserap oleh dinding *rotary kiln* #1. Tabel berikut menunjukkan kontribusi setiap reaksi yang terjadi di dalam proses *reduction kiln* #1 dan kontribusi setiap

proses yang terjadi di proses *reduction kiln* #1 terhadap energi yang dihasilkan. Pembakaran tidak sempurna HSFO memberikan kontribusi gas CO dan SO<sub>2</sub> yang besar begitu pula dengan gas CO<sub>2</sub> yang disumbang. Kontribusi gas CO terbesar berasal dari reaksi pembakaran tidak sempurna karena oksigen dari udara yang dipasok oleh *primary air*, *secondary air*, dan *leakage air* tidak cukup untuk membakar habis HSFO. Gas O<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> sebagai udara pasok, dikontribusikan paling besar oleh *air pipe* #2 karena *air pipe* #2 memiliki *flow* udara terbesar. Penguapan *moisture* dan air kristal memberikan kontribusi gas H<sub>2</sub>O paling besar.

**Tabel 13.** Kontribusi Setiap Proses Dalam *Kiln* Terhadap Energi

| Tahap proses                           | Energi (kJ/h)         | Entalpi |
|----------------------------------------|-----------------------|---------|
| Pembakaran HSFO awal                   | -137.832.848,10       |         |
| Pembakaran CO oleh O <sub>2</sub> sisa | 0,00                  |         |
| Reduksi Ni                             | -470.463,41           |         |
| Reduksi Fe                             | 397.906,40            |         |
| Sulfidisasi Ni                         | -249.137,84           |         |
| Sulfidisasi Fe                         | 193.766,89            |         |
| Oksidasi Sulfur                        | 0,00                  |         |
| Pembakaran HSFO AP4                    | -31.086.200,21        |         |
| Pembakaran CO oleh O <sub>2</sub> sisa | -283.000,00           |         |
| Pembakaran HSFO AP3                    | 0,00                  |         |
| Pembakaran CO oleh O <sub>2</sub> sisa | -310.569,11           |         |
| Pembakaran HSFO AP2                    | 0,00                  |         |
| Pembakaran CO oleh O <sub>2</sub> sisa | 0.00                  |         |
| Pelepasan air kristal                  | 43.014.161,26         |         |
| Pelepasan VM                           | -68.122.381,14        |         |
| Penghembusan AP1                       | 0,00                  |         |
| Pembakaran CO oleh O <sub>2</sub> sisa | 0,00                  |         |
| Pelepasan <i>moisture</i>              | 72.411.397,96         |         |
| Pelepasan <i>moisture coal</i>         | 1.093.403,48          |         |
| <i>Shell Heat Loss</i>                 | 14.847.709,80         |         |
| <i>Off Gas</i>                         | 6.712.884,90          |         |
| <i>Unreduced Calcine</i>               | 57.430.756,98         |         |
| <i>Dust</i>                            | 1.661.390,24          |         |
| <b>TOTAL</b>                           | <b>-40.308.221,89</b> |         |

## PENUTUP

Adapun kesimpulan dari penelitian ini yaitu :

1. Jumlah energy panas yang dihasilkan oleh bahan bakar HSFO kedalam rotary kiln #1 adalah -40.308.221,89 kJ/h.
2. Nilai energy panas didapatkan dari perhitungan energi panas tiap reaksi didalam proses *rotary kiln* #1, perhitungan energi panas yang dibawa oleh material dalam debu, perhitungan energi panas yang dibawa oleh gas yang terbang sebagai *off gas*, perhitungan energi panas yang dibawa oleh material di kalsin yang tidak berhasil tereduksi, dan perhitungan energi panas yang hilang akibat terserap oleh dinding *rotary kiln* #1.
3. energy panas yang dihasilkan didalam rotary kiln #1 berlebih hal tersebut diakibatkan oleh adanya kelebihan bahan bakar HSFO sebesar 1000,25 kg/h.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dewanto, arie. 2010. *Guideline Operational Kiln*. Soroako. Process plant Departement PT Vale Indonesia tbk.
- D, R, Stull and H, Prophet. 2007. *JANAF Thermoochemical Tables, NSRDS-NBS 37*, U.S. Washington DC. Dept of Commerce, National Bureau of Standards.
- Geon Lee, Hae. 1999. *Chemical Thermodynamics For Metals And Materials*. Korea. Pohang University of Science & Technology.
- Superiadi, Agus. 2003. *Processing Plant Production Flows*. Soroako. PT INCO Indonesia.
- Sugiyarto, H. K. dan Suyanti, D. R. 2010. *Kimia Anorganik Logam*. Yogyakarta. Graha Ilmu.